

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2003-258297

(43)Date of publication of application : 12.09.2003

(51)Int.Cl.

H01L 33/00

(21)Application number : 2002-051161

(71)Applicant : SAKAI SHIRO
NITRIDE SEMICONDUCTOR CO
LTD

(22)Date of filing : 27.02.2002

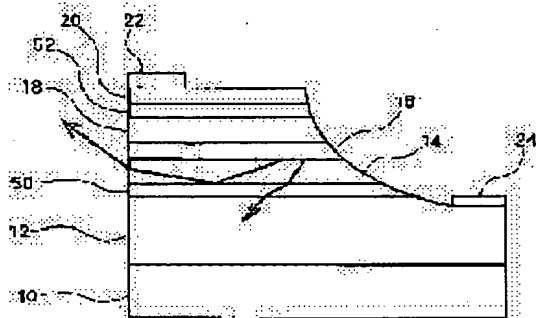
(72)Inventor : SAKAI SHIRO

(54) GALLIUM-NITRIDE-BASED COMPOUND SEMICONDUCTOR DEVICE

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To avoid absorption of light in a GaN layer in a light-emitting device using GaN.

SOLUTION: In an UV-LED, on a substrate 10, an n-type GaN layer 12, an AlGaIn cladding layer 14, a GaN light emission layer 16, an AlGaIn cladding layer 18, and a p-type GaN electrode formation layer 20 are successively formed, and a p-type ohmic electrode 22 and an n-type ohmic electrode 24 are formed. Reflection layers 50 and 52 are formed on the interface between the n-type GaN layer 12 and the AlGaIn cladding layer 14, and on the interface between the AlGaIn cladding layer 18 and the p-type GaN electrode formation layer 20 respectively. The refractive index of the reflection layers 50 and 52 is smaller than the clad layers 14 and 18, and light entering at an angle no less than the critical angle is totally reflected for avoiding the absorption of light in the GaN layer.



LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2003 Japan Patent Office

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号
特開2003-258297
(P2003-258297A)

(43) 公開日 平成15年9月12日 (2003.9.12)

(51) Int.Cl.⁷
H 0 1 L 33/00

識別記号

F I
H 0 1 L 33/00

テーマコード(参考)
C 5 F 0 4 1

審査請求 未請求 請求項の数11 O L (全 6 頁)

(21) 出願番号 特願2002-51161(P2002-51161)

(22) 出願日 平成14年2月27日 (2002.2.27)

(71) 出願人 591080069

酒井 士郎

徳島県徳島市八万町中津浦174-4

(71) 出願人 500221563

ナイトライド・セミコンダクター株式会社
徳島県鳴門市瀬戸町明神字板屋島115番地
の7

(72) 発明者 酒井 士郎

徳島県徳島市八万町中津浦174-4

(74) 代理人 100075258

弁理士 吉田 研二 (外2名)

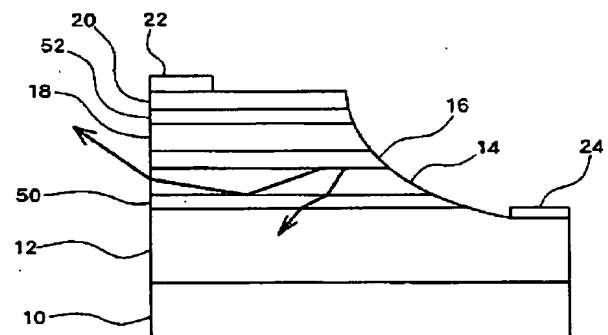
Fターム(参考) 5F041 AA03 CA04 CA05 CA34 CA40
CA46 CA88 CB15

(54) 【発明の名称】 窒化ガリウム系化合物半導体装置

(57) 【要約】

【課題】 GaNを用いた発光素子において、GaN層での光の吸収を抑制する。

【解決手段】 UV-LEDは基板10上に順次n型GaN層12、AlGaInクラッド層14、GaN発光層16、AlGaInクラッド層18、p型GaN電極形成層20を形成し、p型オーミック電極22、n型オーミック電極24を形成して構成される。n型GaN層12とAlGaInクラッド層14との界面及びAlGaInクラッド層18とp型GaN電極形成層20との界面に反射層50、52を形成する。反射層50、52の屈折率はクラッド層14、18よりも小さく、臨界角以上で入射した光を全反射してGaN層での光の吸収を抑制する。



【特許請求の範囲】

【請求項 1】 基板上に順次 GaN 層、第 1 クラッド層、発光層及び第 2 クラッド層を有する窒化ガリウム系化合物半導体装置であって、

前記 GaN 層と前記第 1 クラッド層との間に、前記発光層からの光の少なくとも一部を反射する反射層を有することを特徴とする窒化ガリウム系化合物半導体装置。

【請求項 2】 請求項 1 記載の装置において、前記反射層は、前記第 1 クラッド層よりも小さい屈折率を有し、前記発光層からの光のうち、臨界角以上の入射角を有する光を全反射することを特徴とする窒化ガリウム系化合物半導体装置。

【請求項 3】 請求項 1、2 のいずれか 1 に記載の装置において、さらに、前記第 2 クラッド層上に、前記発光層からの光の少なくとも一部を反射する第 2 反射層と、を有することを特徴とする窒化ガリウム系化合物半導体装置。

【請求項 4】 請求項 3 記載の装置において、前記第 2 反射層は、前記第 2 クラッド層よりも小さい屈折率を有し、前記発光層からの光のうち、臨界角以上の入射角を有する光を全反射することを特徴とする窒化ガリウム系化合物半導体装置。

【請求項 5】 請求項 1～4 のいずれか 1 に記載の装置において、前記発光層は、GaN のバンドギャップ以上のエネルギーを有する光を射出する材料から構成されることを特徴とする窒化ガリウム系化合物半導体装置。

【請求項 6】 請求項 5 記載の装置において、前記発光層は、GaN、AlGaIn、AlGaInN、AlInN の少なくともいずれかであることを特徴とする窒化ガリウム系化合物半導体装置。

【請求項 7】 請求項 1～6 のいずれか 1 に記載の装置において、前記反射層は、AlGaIn、AlInGaIn、AlInN、AlN の少なくともいずれかであることを特徴とする窒化ガリウム系化合物半導体装置。

【請求項 8】 請求項 1～6 のいずれか 1 に記載の装置において、前記反射層は、SiO₂ 層であることを特徴とする窒化ガリウム系化合物半導体装置。

【請求項 9】 請求項 1～6 のいずれか 1 に記載の装置において、前記反射層は、空気層であることを特徴とする窒化ガリウム系化合物半導体装置。

【請求項 10】 請求項 8 に記載の装置において、前記 SiO₂ は、前記 GaN 層上に離散的に形成されることを特徴とする窒化ガリウム系化合物半導体装置。

【請求項 11】 請求項 9 記載の装置において、前記空気層は、前記 GaN 層上に離散的に形成されることを特徴とする窒化ガリウム系化合物半導体装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は窒化ガリウム (GaN) 系化合物半導体装置、特に発光効率の向上に関する。

【0002】

10 【従来の技術】従来より、GaN 系化合物半導体は、短波長 LED あるいは短波長 LD 等の材料として注目されている。

【0003】図 4 には、従来の GaN 系化合物半導体装置 (UV-LED) の一例が示されている。

【0004】図において、サファイア等の基板 10 上に n 型 GaN 層 12 を形成する。なお、n 型 GaN 層 12 を形成する際に、まず低温で GaN バッファ層を形成し、バッファ層上に n 型 GaN 層 12 を形成することが好適である。n 型 GaN 層 12 は、その上に成長させる GaN 半導体層の転位密度を低減させることができる。n 型 GaN 層 12 を形成した後、キャリアを発光層に効率的に注入するための n 型 AlGaIn クラッド層 (第 1 クラッド層) 14 を形成する。クラッド層としては、発光層よりバンドギャップの大きな材料が用いられ、AlGaIn の他に AlGaIn/GaN SLS (Strained Layer Superlattice) 超格子層、AlGaInN 等を用いることもできる。第一クラッド層 14 を形成した後、GaN 発光層 16 を形成し、GaN 発光層 16 上に p 型 AlGaIn クラッド層 (第 2 クラッド層) 18 を形成し、第 1 及び第 2 クラッド層 14、18 で GaN 発光層 16 を挟む構成とする。p 型 AlGaIn クラッド層 18 上には、p 型 GaN 電極形成層 20 を形成する。なお、この p 型 GaN 電極形成層 20 は、動作電圧を低減するための層であり、必須構成ではない。基板 10 上に順次これらの層を形成した後、n 型 GaN 層 12 を露出させるために表面の一部をエッチングし、p 型 GaN 電極形成層 20 上に p 型オーミック電極 22 を形成するとともに、n 型 GaN 層 12 上に n 型オーミック電極 24 を形成する。電極を形成した後、ウェハをチップ状にカットし、ステムにマウントして発光デバイスが完成する。

【0005】

【発明が解決しようとする課題】しかしながら、このように GaN のバンドギャップ (3.4 eV、波長 365 nm) 以上のエネルギーを有する紫外線 (発光層である GaN の膜厚が十分厚い場合には発光波長 365 nm であるが、発光層の厚さが 10 nm 以下の場合には量子効率によりさらに 0～30 nm 短くなる) を射出する発光デバイスにおいては、GaN 発光層 16 から射出した光は GaN 発光層 16 の下部に形成された n 型 GaN 層 12 で吸収されるとともに、GaN 発光層 16 の上部に形成

された p 型 GaN 電極形成層 20 でも吸収されてしまい、発光効率が低下してしまう問題があった。

【0006】特に、GaN 発光層 16 を挟むように形成される第 1 及び第 2 クラッド層 14、18 の屈折率は GaN 発光層 16 の屈折率よりも小さいため、発光層 16 から射出した光は n 型 GaN 層 12 側及び p 型 GaN 電極形成層 20 側に屈折するため、光を一層吸収する方向に作用するため発光効率が低下してしまう。

【0007】なお、p 型 GaN 電極形成層 20 は不要、あるいは薄く形成できるため、その吸収率も小さいが、n 型 GaN 層 12 は転位密度低減のために少なくとも $0.5\mu\text{m}$ 以上形成する必要があるため、n 型 GaN 層 12 に入射した光はほぼ 100% 吸収されてしまう問題があった。

【0008】本発明は、上記従来技術の有する課題に鑑みなされたものであり、その目的は、GaN 層での光の吸収を抑制し、発光効率を向上させることができる GaN 系半導体装置を提供することにある。

【0009】

【課題を解決するための手段】上記目的を達成するために、本発明は、基板上に順次 GaN 層、第 1 クラッド層、発光層及び第 2 クラッド層を有する窒化ガリウム系化合物半導体装置であって、前記 GaN 層と前記第 1 クラッド層との間に、前記発光層からの光の少なくとも一部を反射する反射層を有することを特徴とする。

【0010】前記反射層は、前記第 1 クラッド層よりも小さい屈折率を有し、前記発光層からの光のうち、臨界角以上の入射角を有する光を全反射することが好適である。

【0011】また、前記第 2 クラッド層上に、前記発光層からの光の少なくとも一部を反射する第 2 反射層をさらに有することもできる。

【0012】前記第 2 反射層は、前記第 2 クラッド層よりも小さい屈折率を有し、前記発光層からの光のうち、臨界角以上の入射角を有する光を全反射することが好適である。

【0013】本装置において、前記発光層は、GaN のバンドギャップ以上のエネルギーを有する光を射出する材料から構成することができ、例えば、GaN、AlGaIn、AlGaInN、AlInN の少なくともいずれかで構成することができる。

【0014】また、前記反射層は、AlGaIn、AlInGaIn、AlInN、AlInN の少なくともいずれか、あるいは SiO₂ あるいは空気とすることができる。

【0015】反射層としての SiO₂ あるいは空気は、GaN 層上に離散的に形成される。

【0016】このように、本発明に係る GaN 系化合物半導体装置では、GaN 層と発光層との間、より具体的には GaN 層とクラッド層との界面に反射層を設け、この反射層で入射光を全反射させることで GaN 層での光

吸収を抑制する。発光層からの光は種々の入射角で反射層に入射するが、その中で臨界角以上で入射する光を全反射させて GaN 層での吸収を抑制できる。

【0017】入射光を全反射させるには、クラッド層よりも屈折率の小さい材料を反射層として用いればよく、その差が大きいほど臨界角を小さく設定できる。一方、反射層は GaN 層とクラッド層との界面に形成されるため、反射層の材料は GaN 系クラッド層あるいは GaN 系発光層の形成を妨げないように形成される必要がある。SiO₂ や空気を反射層の材料として用いる場合、これらは離散的に形成され、その開口部からクラッド層を成長させることが可能である。

【0018】

【発明の実施の形態】以下、図面に基づき本発明の実施形態について説明する。

【0019】図 1 には、本実施形態に係る GaN 系半導体装置 (UV-LED) の構成が示されている。図 4 に示された従来の UV-LED と同様に、基板 10 上に n 型 GaN 層 12、n 型 AlGaIn クラッド層 (第 1 クラッド層) 14、GaN 発光層 16、p 型 AlGaIn クラッド層 (第 2 クラッド層) 18、p 型 GaN 電極形成層 20 が形成され、p 型オーミック電極 22 及び n 型オーミック電極 24 が形成される。n 型 GaN 層 12 を形成する際には、低温で GaN バッファ層が形成され、バッファ層上に n 型 GaN 層 12 が形成される。

【0020】一方、本実施形態において特徴的なことは、n 型 GaN 層 12 と第 1 クラッド層 14 との界面に反射層 50 が形成されるとともに、第 2 クラッド層 18 と p 型 GaN 電極形成層 20 との界面にも反射層 52 が形成される。なお、p 型 GaN 電極形成層 20 が形成されていない場合、あるいは形成されていても光吸収が無視できる程度であれば、反射層 52 は形成しなくてもよい。反射層 50、52 の機能は同一であるため、以下、反射層 50 について説明する。

【0021】反射層 50 は第 1 クラッド層 14 よりも小さな屈折率を有し、これにより臨界角以上で発光層 16 からこの反射層 50 に入射した光は全反射されて n 型 GaN 層 12 に入射しない。これにより、n 型 GaN 層 12 での吸収による発光効率低下を抑制することができる。第 1 クラッド層 14 よりも小さな屈折率を有する材料としては、クラッド層の材料である AlGaIn よりも大きなバンドギャップを有する AlGaIn、AlInGaIn、AlInN 等の結晶を用いることができる。また、これらの半導体材料の他に、SiO₂ や空気を用いることも可能である。

【0022】また、反射層 50 の厚さは、光が全反射するときの光のしみこみ深さより厚く設定される。しみこみ深さは入射角や波長に依存するが、通常 10nm 以上形成するのが好適である。

【0023】さらに、反射層 50 は臨界角以上で入射し

た光を全反射するものの、臨界角より小さい角度で入射した光を反射することはできず、 n 型Ga_{0.9}N層12で吸収されてしまうが、反射層50を形成しない場合に比べて、その損出は著しく低減される。なぜなら、光はGa_{0.9}N発光層16より全ての立体角に対して射出され、その多くが全反射条件を満たして反射層50で全反射される*

*からである。反射層50としてAlGa_{0.9}N、空気、SiO₂を用いた場合の光取り出し効率の計算値を反射層50がない場合と比較して表1に示す。

【0024】

【表1】

反射層材料 (厚さ)	開口部比率*	相対効率 (計算値)**	相対効率 (実験値)
無し	0	1	1
SiO ₂ (100nm)	0	4.5	NA***
SiO ₂ (100nm)	1	1.3	2.5
空気 (100nm)	0	6.8	NA***
空気 (100nm)	1	1.5	3
Al _{0.9} Ga _{0.1} N(20nm)	0	1.5	1.3
Al _{0.8} Ga _{0.2} N(20nm)	0	1.8	1.5
Al _{0.7} Ga _{0.3} N(20nm)	0	1.9	2
Al _{0.6} Ga _{0.4} N(20nm)	0	2.1	2.1
AlN(20nm)	0	2.3	1.9

* 反射層が付いていない面積÷反射層が付いている面積 (=d₂/d₂, 図2)

** 反射層がついていないLEDの効率を1と規格化した値

*** 作製せず

表1において、開口部比率は反射層50を n 型Ga_{0.9}N層12上に離散的に形成した場合の、反射層50が形成されていない面積と反射層が形成された面積との比率である。離散的に形成する意義については後述する。反射層50が非離散的、すなわち全面に形成されている場合は開口部比率=0であり、両者の面積が等しい場合は開口部比率=1である。また、相対比率は、反射層50が形成されていない従来の装置における効率を1として規格化した値である。表1の計算値に着目すると、反射層50が形成されていない場合の1に比べ、反射層50としてAlGa_{0.9}Nを全面に形成した場合には1.5~2.1に増大し、またSiO₂を全面に形成した場合には相対効率が4.5に増大し、空気層を形成した場合には6.8と増大していることがわかる。また、反射層50としてAlNを用いた場合には2.3と増大していることがわかる。このように、反射層50を形成することでGa_{0.9}N層12での吸収を抑制し、発光効率を向上させることができる。

【0025】ここで、反射層50としてAlGa_{0.9}Nを用いる場合には、Ga_{0.9}N層12と第1クラッド層14との界面全面に形成することが可能であるが、反射層50としてSiO₂あるいは空気を用いる場合、これらをGa_{0.9}N層12と第1クラッド層14との界面全面に形成することはできない。空気は云うまでもないが、SiO₂を全面に形成してしまうと、その上にGa_{0.9}N系半導体層を成長させることができないからである。そこで、SiO₂あるいは空気を反射層50の材料として用いる場合には、界面に離散的に形成することとなる。

【0026】以下、SiO₂あるいは空気層を用いる場合の方法について説明する。

【0027】図2には、SiO₂を反射層として用いる

場合の構成が示されている。まず、サファイア等の基板10上に n 型Ga_{0.9}N層12を成長させる。成長後、試料を成長装置(MOCVD装置)から取り出し、SiO₂をCVD等により形成する。形成後、フォトリソグラフィとエッチングを用いてSiO₂を部分的に除去して離散化し、再び成長装置に導入して第1クラッド層14、Ga_{0.9}N発光層16、第2クラッド層18、Ga_{0.9}N電極形成層20を順次成長させる。離散的にSiO₂を形成すると、SiO₂が存在しない開口部から縦方向に第1クラッド層14が成長し、やがて横方向にも成長して平坦なクラッド層が成長できる。以上のようにして、 n 型Ga_{0.9}N層12と第1クラッド層14との界面にSiO₂反射層54が形成される。

【0028】なお、既述したように、SiO₂反射層54が形成されていない開口部では全反射しないため、この部分に入射した光は n 型Ga_{0.9}N層12で吸収されることとなるが、SiO₂反射層54が存在する部分では、AlGa_{0.9}Nを反射層として用いた場合よりも高い反射率が得られる。平均の反射率はSiO₂の開口率で決定される。

【0029】表1において、SiO₂の開口部比率が0の場合に相対比率4.5が得られ、開口部比率が1の場合には相対比率1.3にとどまることは容易に理解されよう。開口部比率が1の場合でも、反射層が形成されない場合に比べて約30%の向上が得られる。開口部比率を0に近づけるほど相対比率は大きくなるが、クラッド層の成長が困難となる。両者のトレードオフで最適な開口部比率が決定される。

【0030】次に、空気を反射層として用いる場合について説明する。

【0031】図3には、空気を反射層として用いる場合

の構成が示されている。SiO₂を離散的に形成することでSiO₂を反射層として用いることが可能であるが、SiO₂を部分的に除去した後に第1クラッド層14を成長させる際の成長条件を調整することで、SiO₂上に成長のない領域(ボイド)が出現する。このボイドが空気反射層56として機能する。具体的には、第1クラッド層の成長速度を増大させることでボイドが形成される。SiO₂上に形成された空気層は、SiO₂の場合よりもさらに効果的にGa_{0.9}N層12での吸収を抑制する。表1では、同一開口部比率で比較した場合、SiO₂の1.3に比べ空気は1.5であり、反射層がない場合に比べて発光効率が約50%増大する。

【0032】

【実施例】サファイア基板を水素雰囲気中で1100℃で処理し、500℃に温度を下げた後にシランガスとアンモニアガスを流してSi₃N₄バッファ層を形成した。この層は、この上に成長させるGa_{0.9}NさらにはAlGa_{0.1}N層中の転位を低減する効果がある。同じ温度でGa_{0.9}Nバッファ層を形成し、その後温度を1070℃に上げてn型Ga_{0.9}N層を2μm成長させた。次に、20nm厚のAl_{0.1}Ga_{0.9}N反射層を形成し、第1クラッド層として合計200nm厚(シリコンドープ2nm厚Al_{0.1}Ga_{0.9}N/2nm厚Ga_{0.9}N)のn型SLS50周期を形成し、2nm厚のGa_{0.9}N発光層を成長させた。さらに、第2クラッド層として合計150nm厚(Mgドープ2nm厚Al_{0.1}Ga_{0.9}N/1nm厚Ga_{0.9}N)p型SLS50周期を形成し、電極形成層としてMgドープp型Ga_{0.9}N層を順次1070℃で成長させた。成長後、全面にp型透明電極を形成し、n型Ga_{0.9}N層までエッチングを行い、エッチングした表面にn型電極を形成してワイヤボンディング用のパッドをp電極の一部に形成した。裏面を研磨して互いに120度の角度をなす方向にスクライブしてブレイクした。ステムにマウントし、ワイヤを接続してデバイスを作製した。第1クラッド層としてのn型SLSは平均Al組成5%のAlGa_{0.1}Nと等価である。反射層としてのAlGa_{0.1}NのAl組成比を複数変化させて(Al=0.1、0.2、0.3、0.5)デバイスを作製し、得られたデバイス(図1の構成と同様)の評価を行った。

【0033】また、反射層形成時に、AlGa_{0.1}Nの代わりにGa_{0.9}N層上にストライプ上のマスクを形成し、CVDを用いてSiO₂をストライプ状に形成した。SiO₂の幅は5μm、窓(開口部)の幅は5μm、厚さは100nmである(開口部比率=1)。以上のようにして図2の構成と同様のデバイスを作成し、その評価を行った。

【0034】さらに、SiO₂をストライプ状に形成後、n型SLS層を形成する際の成長速度を増大させることでSiO₂上にボイドを形成し、図3の構成と同様のデバイスを作製し、その評価を行った。ボイドの厚さ

は100nmである。なお、反射層を有しないデバイス(図4の構成と同様)も比較のために作成した。

【0035】これら全ての試料を同一条件で測定した結果を表1に実験値として示す。なお、SiO₂及び空気を反射層として用いた場合には全面に形成できないためNA(作製せず)としている。反射層としてAlGa_{0.1}Nを用いた場合には相対比率1.3~2.1が得られ、SiO₂の場合には2.5、空気の場合には3が得られており、いずれも発光効率を向上させる効果があることが確認された。

【0036】なお、表1において、SiO₂、及び空気を反射層として用いた場合に実験値が計算値よりも増大していることに注意されたい。計算値では転位密度は全ての構造において同一であると仮定しているのに対し、SiO₂及び空気の場合には離散的に形成しているためこれらの構造ではクラッド層がまず開口部から縦方向に成長し、その後横方向に成長していくため、下地層の結晶構造に影響されない成長が生じ、このためクラッド層及び発光層の転位が低減し、光取出効率に加えて内部量子効率も向上したためにトータルとして効率が向上したものと考えられる。すなわち、SiO₂等を離散的に形成することで転位密度低減による発光効率の増大と全反射による光吸収の抑制が得られることになる。

【0037】以上、本発明の実施形態について説明したが、本発明はこれに限定されるものではなく種々の変更が可能である。

【0038】例えば、本実施形態では発光層としてGa_{0.9}Nを用いているが、Ga_{0.9}Nに吸収される光を射出する材料を発光層とする任意の装置に適用することができる。このような発光層を例示すると、AlGa_{0.1}N、AlGa_{0.1}In_{0.9}N、AlIn_{0.9}N等である。

【0039】また、反射層の材料は、既述したようにクラッド層との屈折率の大小関係に基づき適宜選択することができ、クラッド層の成長を妨げるような材料を用いる場合には所望の開口部比率で離散的に形成すればよい。

【0040】

【発明の効果】以上説明したように、本発明によればGa_{0.9}N層での光の吸収を抑制し、発光効率を向上させることができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】 実施形態の構成図である。

【図2】 他の実施形態の構成図である。

【図3】 さらに他の実施形態の構成図である。

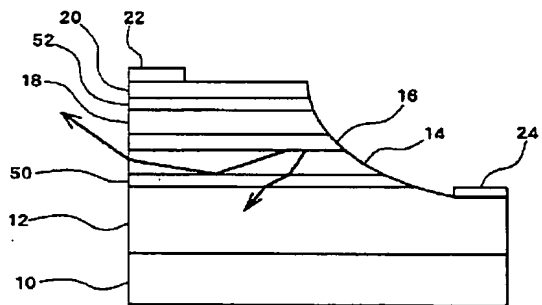
【図4】 従来装置の構成図である。

【符号の説明】

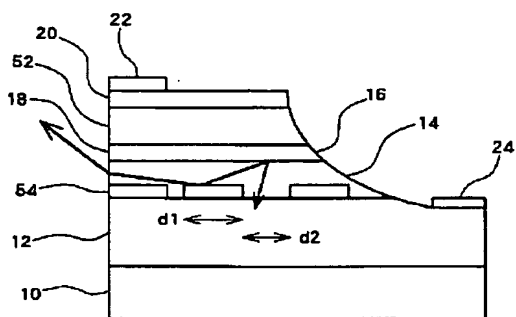
10 基板、12 n型Ga_{0.9}N層、50 反射層、14 第1クラッド層、16 Ga_{0.9}N発光層、18 第2クラッド層、20 p型Ga_{0.9}N電極形成層、22 p型オーミック電極、24 n型オーミック

電極。

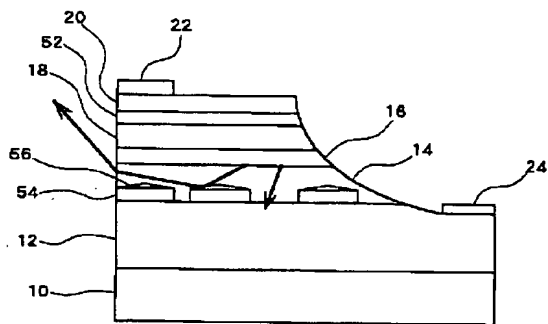
【図 1】



【図 2】



【図 3】



【図 4】

